

# השפעת המעבר לרכב חשמלי על משק החשמל בישראל



ד"ר נורית גל, ד"ר דן וינשטוק, ברק רשף

נובמבר 2021

## תקציר מנהלים

### רקע

1. המעבר מרכב בעל מנוע בערה פנימית<sup>1</sup>, לרכב החשמלי, הוא אחד מתהליכי השינוי המשמעותיים הצפויים בעשור הקרוב. עבודה זו בוחנת את השפעת המעבר לרכב חשמלי על צריכת האנרגיה השנתית, על כושר הייצור שיידרש במשק החשמל, על פיתוח מערכת ההולכה וההשנאה, על פיתוח רשת החלוקה, ועל המבנה הרצוי של תעריף החשמל.
2. האתגר של תכנון משק החשמל לשם קליטת הרכב החשמלי מורכב במיוחד, משום שהוא מתאפיין בחוסר וודאות באשר למאפיינים הטכניים ולמאפייני ההתנהגות של האוכלוסייה. ראשית, קצב הגידול של מצבת הרכב החשמלי אינו ידוע וקיימת שונות רבה בין התחזיות. שנית, מאפייני טעינת הרכב החשמלי, בדגש למידת ההתלכדות בין שעות הטעינה של כלי רכב שונים אינם ידועים עדיין. זאת ועוד, תחום התחבורה כולו עשוי להשתנות באופן מהותי כתוצאה ממעבר לרכב אוטונומי ("רובוטקסי") אשר יביא לשינוי במבנה הבעלות על כלי רכב, במאפייני הנסועה וכפועל יוצא מכך גם במאפייני הטעינה. כמו כן, בשנים הבאות צפויים שינויים בדפוסי הנסיעה ברכב פרטי למשל כתוצאה מהרחבת היקף העבודה מהבית, תמריצים כלכליים להימנעות מנסיעה ברכב פרטי ושיפור אפשרי בתשתיות התחבורה הציבורית בישראל.
3. עבודה זו נכתבה על מנת לשפוך אור על נושא חשוב זה, ולהציע מודל בסיסי אשר יאפשר להעריך את הטווח האפשרי של השפעת הרכב החשמלי על הביקוש השנתי לחשמל, על כושר הייצור שיידרש לישראל ועל תכנון רשת ההולכה ורשתות החלוקה בשכונות המגורים.
4. העבודה מתמקדת ברכבים הפרטיים, באוטובוסים ובמיניבוסים. לא כללנו בעבודה זו רכבים כבדים, כגון משאיות, משום שמסתמן כי רכבים אלו עשויים להעדיף שימוש בתאי דלק ככל שטכנולוגיה זו תתפתח (IEA, 2021). כמו כן, לא כללנו בעבודה מוניות, משום שמאפייני הנסועה הייחודיים של המוניות על פני היממה מחייבים נתונים נוספים שאינם זמינים בידינו בשלב זה.
5. לאור מאפייני חוסר הוודאות, בנינו טווח אפשרי של תרחישים סבירים וניתחנו את ההשפעה של כל תרחיש על משק החשמל. כלי זה עשוי לאפשר למקבלי ההחלטות לבחון את המשמעות של כל תרחיש לתכנון המשק. זאת ועוד, העבודה מאפשרת

<sup>1</sup>ICE – Internal Combustion Engine

לבחון את ההשפעה של שינויים במאפייני הטעינה על הפיתוח הנדרש של משק החשמל, ובכך לשקול את כדאיות של תמריצים כלכליים אשר יעודדו את פיזור וניהול שעות הטעינה.

6. הפרק הראשון והפרק השני של המסמך מציגים את הנחות העבודה ביחס לכלי רכב פרטיים וביחס לאוטובוסים ומיניבוסים. הפרק השלישי והפרק הרביעי מפרטים את מסקנות הניתוח ברמה המשקית וברמת רשת החלוקה.

7. העבודה היא פרי יוזמה עצמאית של הכותבים לשם קידום השיח הציבורי בנושא הרכב החשמלי. העבודה נעשתה ללא מימון של צד שלישי.

#### מסקנות

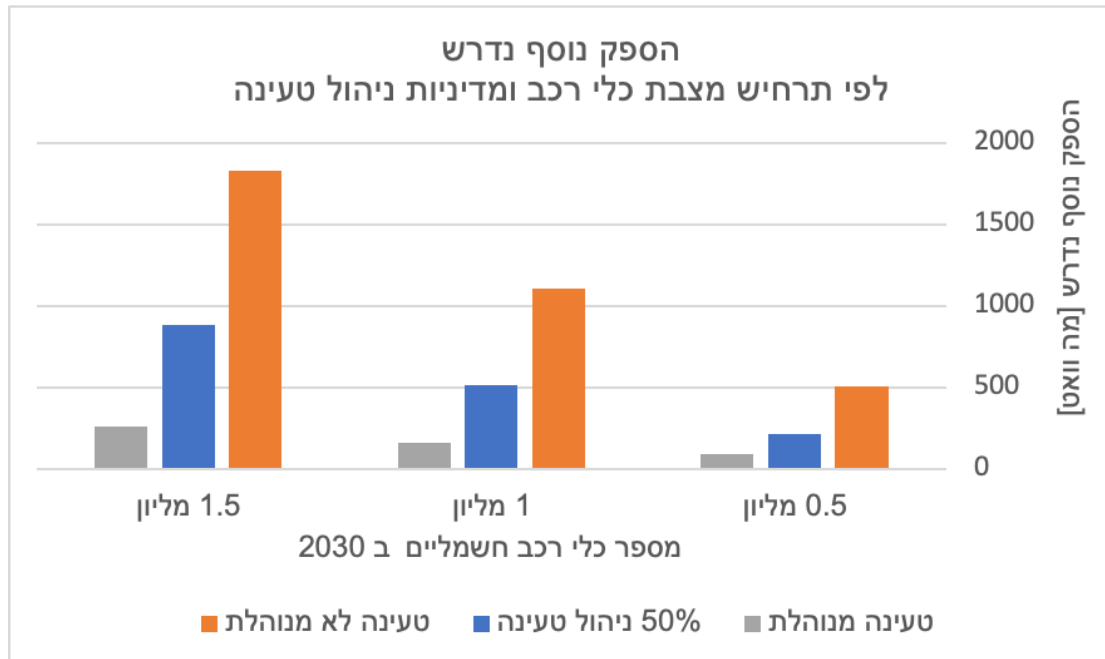
8. חדירת הרכב החשמלי תביא לגידול נוסף של 0.2%-0.7% בצריכת החשמל בהתאם למפורט בטבלה 1.

#### טבלה 1 – גידול בביקוש השנתי לחשמל כתוצאה מחדירת כלי רכב חשמלי

התוספת לגידול השנתי בביקוש לחשמל, כתוצאה מטעינה	צריכת חשמל לטעינה בשנת 2030 [TWh]	תרחיש	
		אוטובוסים	רכב פרטי
0.2%	2.7	משנת 2026, כל האוטובוסים והמיניבוסים שיירכשו יהיו חשמליים	0.5 מיליון ב 2030
0.5%	4.5		1 מיליון ב 2030
0.7%	5.7		1.5 מיליון ב 2030

9. תרשים 1 מציג את תוספת ההספק אשר תידרש למשק החשמל כדי לתת מענה לטעינת הרכב החשמלי לפי תרחיש החדירה של הרכב החשמלי ומדיניות ניהול הטעינה. מהתרשים ניתן לראות כי בשנת 2030, ללא ניהול טעינה למשק עשויה להידרש תוספת הספק של כ 2000 מגה וואט. ניהול חלקי של הטעינה יצמצם את תוספת ההספק לכ- 1000 מגה וואט בלבד וניהול מלא של הטעינה יצמצם את תוספת ההספק הנדרשת ל- 200 מגה וואט בלבד.

### תרשים 1 - הספק נדרש לטעינת רכב חשמלי לפי קצב גידול וניהול טעינה



10. ברשת החלוקה צפויה שונות גבוהה בין אזורים שונים בארץ: באזורים המתאפיינים בחתך סוציו-אקונומי גבוה צפויה חדירה מהירה יותר של רכב חשמלי, משום שמשקי הבית באזור זה מתאפיינים, לפי נתוני הלמ"ס, במספר גבוה יותר של כלי רכב למשק בית (1.5 מכוניות בממוצע) ובקצב תחלופה גבוה יותר של כלי הרכב (40% מכלי הרכב בני פחות מ 3 שנים).

11. תוספת העומס על שנאי חלוקה אופייני בהספק של 630 קו"א, בתרחיש של טעינה לא מנוהלת עשויה להגיע ל 95 קילו וואט בשעת שיא הביקוש, בתרחיש בו 50% מכלי הרכב של המשפחות הניזונות משנאי החלוקה הם חשמליים. קרי כ 20% תוספת מעבר לשיא עומס הטעינה האופייני של השנאי<sup>2</sup>.

#### המלצות מדיניות

12. לאור הממצאים, מומלץ לשקול את המלצות המדיניות המפורטות להלן:

**א. מומלץ לעודד את הטעינה בשעות היום בעמדות ציבוריות – כדי לצמצם**

**את הצורך בתוספת הספק עבור שיאי הביקוש בערב:**

i. טעינה בשעות הצהריים תסייע במענה לעודפי ייצור סולארי בשעות

הצהריים בחורף ובעונות המעבר ותקטין את הצורך בתוספת הספק

אשר יידרש למשק כתוצאה מטעינה משעות הערב.

<sup>2</sup> שנאי חלוקה של 630 קו"א מועמס לרב עד 580 קו"א.

- ii. עידוד הטעינה בעמדות ציבוריות יכול להיעשות באמצעות קביעת חובה להתקנת עמדות טעינה באזורי מסחר, במבנים ציבוריים ובמקומות עבודה וכן באמצעות סבסוד של העמדות הציבוריות. עלות הסבסוד של העמדות הציבוריות צפויה להיות נמוכה משמעותית בהשוואה להשקעה המשקית בתוספת הספק עבור שעות הערב.
- iii. **מוצע לעודד תחרות בין ספקים שונים בעמדות הטעינה הציבוריות בכל אזור, על מנת למנוע מונופול מקומי של עמדות טעינה, אשר יביא למחיר טעינה גבוה ויהווה תמריץ שלילי לטעינה בעמדות ציבוריות:** תחרות זו ניתן להשיג באמצעות מכרזים אשר יאפשרו את ההקמה למציע אשר יציע את מחיר הטעינה המזערי, או באמצעות ריבוי ספקי טעינה בכל אזור, כך שתתאפשר תחרות מתמשכת על מחיר הטעינה בין הספקים. בהקשר זה נציין כי רשות החשמל קבעה פטור מצורך ברישיון להקמת עמדות הטעינה למשך 8 שנים, לכן הפעילות איננה מפוקחת ולא חלות עליה החובות החלות על בעלי רישיונות.
- iv. **חובת הקמת עמדות טעינה בחניוני מקומות עבודה - לתאגידים יש משקל משמעותי בחדירה של הרכב החשמלי, משום שהם רוכשים כיום כ- 20% מכלי הרכב הפרטיים ומממנים את עלות הדלק והתחזוקה של כלי הרכב.** עם זאת, מנקודת הראות של התאגידים עדיף כי הטעינה תתרחש בשעות הערב בבית ולא במקום העבודה. בכך, התאגידים עלולים לתרום להסטת הטעינה לשעות הערב, בניגוד לאינטרס המשקי. מכאן החשיבות של עידוד ו/או הטלת חובה למתן אפשרות לטעינה בשעות הצהריים בחניוני התאגידים.
- ב. **מומלץ לתכנן את רשת החלוקה בהתאם לתחזית האזורית לגידול רכב חשמלי, תוך מיקוד באזורים בחתך סוציו אקונומי גבוה, בהם צפויה חדירה מהירה יותר.**
- ג. **מומלץ לקבוע 1-2 נקודות חיבור לבניין מגורים לטעינת רכב חשמלי ולהימנע מהתקנת מונה פרטני לכל עמדת טעינה על ידי בעל רישיון חלוקה:**
- i. התקנת 2 נקודות חיבור תאפשר לבניין להתקשר עם יותר מספק טעינה אחת ובכך לאפשר תחרות על מחיר הטעינה.
- ii. ניהול הטעינה מחייב מתן אפשרות לספק הטעינה להציע מחירים שונים לטעינה על פני שעות הערב ולהסיט חלק מהצריכה לשעות מאוחרות יותר.

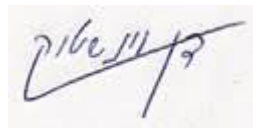
- .iii. כאשר הטעינה משולבת במונה הדירתי, מחיר הטעינה מפוקח והמחלק מחויב לספק את מלוא הביקוש בכל שעה, משום שלא ניתן להבחין האם הביקוש מיועד לטעינה או לשימושים ביתיים אחרים.
- .iv. לכן, לאור חשיבות ניהול הטעינה, מומלץ להפריד בין החיבור המיועד לטעינה לבין החיבור המיועד לשימושים ביתיים אחרים.
- ד. מומלץ לשקול תעריף ייעודי למרכזות טעינת רכב חשמלי:
- i. ככלל, הביקוש לחשמל נחשב קשיח, קרי – הצרכנים מגיבים באופן מוגבל לאיתות מחיר. לעומת זאת, הביקוש לטעינת רכב חשמלי עשוי להיות גמיש. כלומר – צרכנים עשויים להגיב לאיתות מחיר ולהסכים לדחיית שעת הטעינה, כל עוד הטעינה תושלם עד לשעות הבוקר של יום המחרת. זאת במיוחד כאשר טווח הנסיעה הממוצע אינו עולה על עשרות ק"מ ביום ולכן הסוללה איננה ריקה בסוף היום.
- ii. מסקירה ראשונית עולה כי קליפורניה וחלק מהאזורים באירופה כבר אימצו מדיניות זו וקבעו תעריף ייעודי לטעינה.
- iii. בהחלטה האם לשלב את הטעינה במונה הדירתי יש להביא בחשבון כי שילוב הביקוש לטעינה יחד עם הביקוש הביתי ימנע בפועל יישום של תעריף ייעודי לאגירה.

13. לסיכום, המעבר לרכב חשמלי הינו מגמה מבורכת בעלת השפעות נרחבות על משק החשמל. מוצע כי משרדי הממשלה, בדגש למשרד האנרגיה, משרד התחבורה, רשות החשמל, חברת ניהול המערכת וחברת החשמל יגבשו מדיניות וצעדים מעשיים להערכות כדי לאפשר את יישום המעבר לרכב חשמלי. אנו מקווים כי עבודה זו והסימולציה שפותחה לצורך העבודה ישמשו את מקבלי ההחלטות בגיבוש המדיניות.

ברק רשף



ד"ר דן וינסטוק



ד"ר נורית גל



## תוכן העניינים

<u>2</u>	<u>תקציר מנהלים</u>
2	רקע
3	מסקנות
4	המלצות מדיניות
<u>8</u>	<u>הנחות העבודה ביחס לכלי רכב פרטיים</u>
8	קצב רכישת רכב פרטי חדש בישראל
9	הגידול במצבת הרכב החשמלי
14	נסועה
15	מאפייני הסוללות
16	מאפייני הטעינה
<u>18</u>	<u>הנחות העבודה ביחס לאוטובוסים ולמיניבוסים</u>
18	הגידול במספר האוטובוסים והמיניבוסים החשמליים
<u>20</u>	<u>משמעות למשק החשמל ברמה הארצית</u>
20	צריכת החשמל במשק
21	פרופיל טעינה יומי
23	תוספת ההספק הנדרש במשק החשמל
<u>24</u>	<u>משמעות לשנאי החלוקה</u>

## הנחות העבודה ביחס לכלי רכב פרטיים

קצב רכישת רכב פרטי חדש בישראל

1. תרשים 2 מציג את מספר כלי הרכב הפרטיים החדשים שנרכשו בישראל בעשור האחרון ואת אחוז כלי הרכב החדשים ביחס למצב כלי הרכב הפרטיים, לפי נתוני הלמ"ס<sup>3</sup>.

תרשים 2 – רכישת כלי רכב פרטיים בישראל, 2010-2020



2. מהתרשים ניתן לראות כי בשנים האחרונות מסתמנת ירידה מתונה בכמות כלי הרכב הנרכשים. בשנים הבאות קצב רכישת כלי הרכב עשוי להשתנות גם כתוצאה משיפור אפשרי בזמינות של מערכות להסעת המונים (המטרו, הרכבת הקלה ונתיבים ייעודיים לתחבורה ציבורית) וכן כתוצאה משילוב כלי רכב אוטונומיים ("רובוטקסי"). אין בידינו כלים להעריך את ההשפעה האפשרית של מגמות אלו, ולכן הנחנו כי מספר כלי הרכב שיירכשו מדי שנה יישאר קבוע לפי הנתון הממוצע ב-4 השנים שקדמו לשנת הקורונה (קרי – 250,000 כלי רכב חדשים בשנה).

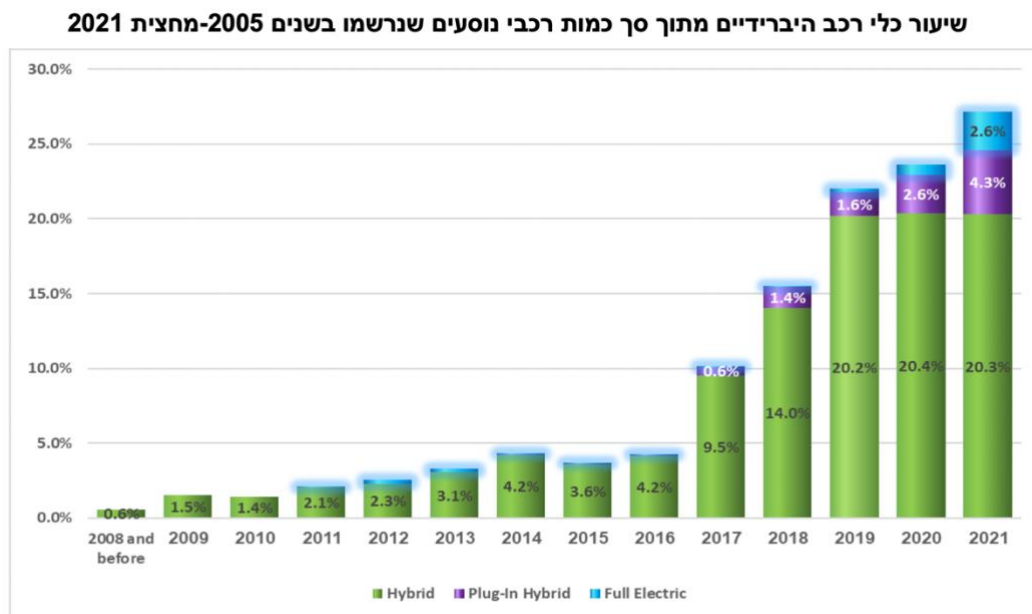
<sup>3</sup> למ"ס, [כלי רכב מנועיים בישראל, 2020](#)



### הגידול במצבת הרכב החשמלי

3. עד לשנת 2020 נרכשו בישראל 2783 מכוניות פרטיות חשמליות (BEV) ו-17,810 מכוניות פרטיות חשמליות היברידיות משולבות מנוע בנזין (PHEV). תרשים 3 מציג את הגידול במספר כלי הרכב לפי סוג ושנה, לפי נתוני הלמ"ס<sup>4</sup>.
4. לפי דו"ח רשות המיסים<sup>5</sup> בשנת 2020, כ-1% מהרכבים הפרטיים שנרכשו היו חשמליים (BEV) בעוד שהרכבים הנטענים משולבי מנוע בנזין (PHEV, רכב היברידי) היוו כ-2.6% מהרכבים החדשים שנרכשו. מהמחצית הראשונה של 2021 עולה כי בשנה זו אחוז הרכב החשמלי גדל ל-2.6% מכלי הרכב שנרכשו והרכב ההיברידי צמח לנתח שוק של 4.3% מכלי הרכב.

### תרשים 3 – שיעור כלי רכב היברידיים-נטענים וחשמליים מתוך סך כלי הרכב הנרכשים (נתוני רשות המיסים)



מקור: משרד התחבורה, עיבודי החטיבה לתכנון וכלכלה, רשות המיסים.

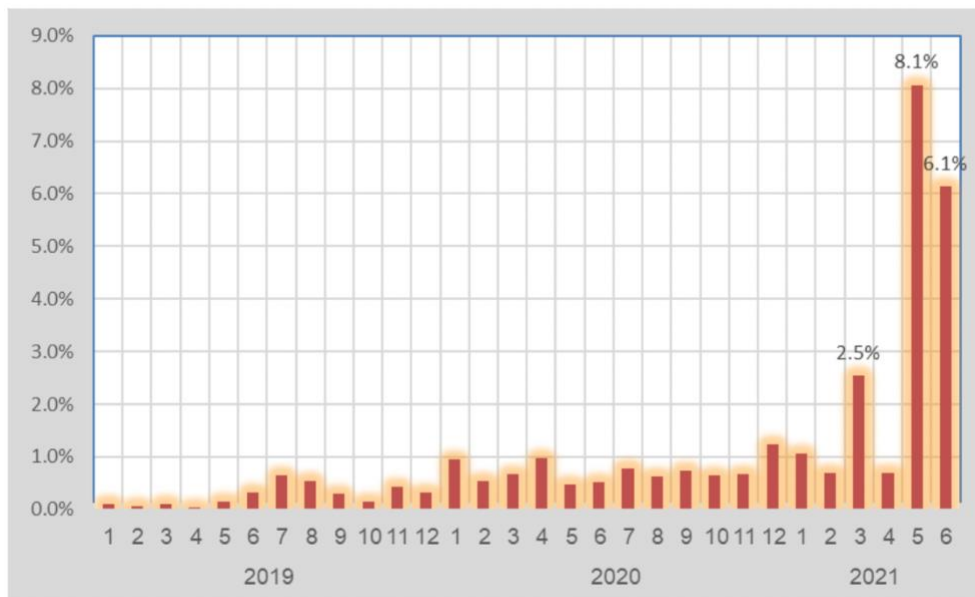
<sup>4</sup> למ"ס, [כלי רכב מנועיים לפי סוג דלק](#), 2020

<sup>5</sup> רשות המיסים, [מיסוי ונתונים נבחרים על ענף הרכב בישראל](#), 2019-2020

5. ניתוח פרטני של רכישת כלי הרכב החשמליים, לפי פרסום רשות המיסים, מלמד, כי כבר במהלך שנת 2021 חל גידול משמעותי בשיעור כלי הרכב החשמליים. כלומר, המעבר לכלי רכב חשמליים נמצא בתהליך מואץ של שינוי מגמה.

**תרשים 4 – שיעור כלי רכב חשמליים מתוך סך כלי הרכב הנרכשים, לי חודש (נתוני רשות המיסים)**

**שיעור כלי רכב חשמליים מתוך סך רכב נוסעים שנרשמו לתנועה ב-2019-מחצית 2021**



מקור: נתוני משרד התחבורה, עיבודי החטיבה לתכנון וכלכלה, רשות המיסים

6. לרכב החשמלי יתרון בעלויות תחזוקה ויתרון משקלי אשר מתבטא בצריכת חשמל נמוכה יותר לק"מ, בהשוואה לרכב משולב מנוע בנזין. עם זאת, קיבולת הסוללה של מרבית כלי הרכב החשמליים, למעט רכבי היוקרה, היא מוגבלת יחסית, והזמינות של עמדות הטעינה הציבוריות היא עדיין נמוכה. לכן, כיום טווח הנסיעה של הרכב החשמלי העממי מוגבל, והתפוצה של הרכב החשמלי נמוכה לעומת תפוצת הרכב ההיברידי.
7. התחזיות בעולם מצביעות על כך שבשנים הבאות, הירידה במחיר הסוללות תביא לכך שגם רכבים עממיים יכללו קיבולת אגירה משמעותית שתאריך את טווח הנסיעה, והגידול בתפוצת עמדות הטעינה הציבוריות המהירות ייתן מענה מספק גם לטווחי נסיעה ארוכים יותר. לכן תפוצת הרכב החשמלי צפויה לגדול בקצב גבוה משמעותית מתפוצת הרכב ההיברידי.
8. זאת ועוד, רשות המיסים מגיבה למגמת השינוי בתמהיל רכישת כלי הרכב באמצעות העלאת שיעור מס הקניה. טבלה 2 מציגה את הגידול הצפוי בשיעור מס הקניה לפי

סוג רכב בשנים הקרובות. הגידול הצפוי בשיעור המס לרכב היברידי נטען עשוי גם הוא לתרום להעדפת הרכב החשמלי

**טבלה 2 – שיעור מס קניה לפי סוג רכב  
(נתוני רשות המיסים)**

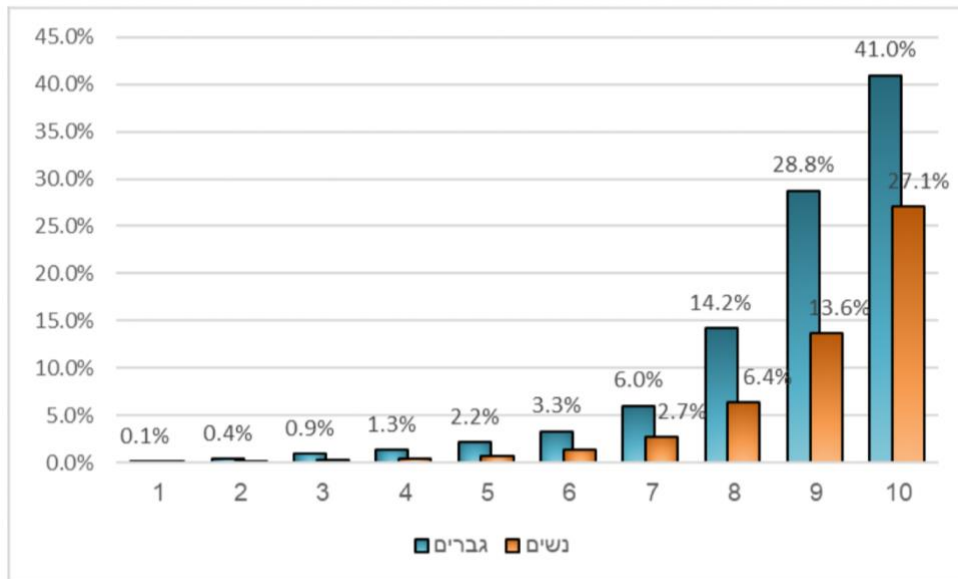
שיעורי מס קניה עבור כלי רכב היברידיים וחשמליים					
2024	2023	2022	2021	2020	
מיסוי רגיל			50%	45%	רכב היברידי עד ציון ירוק 130
מיסוי רגיל	55%	40%	30%	25%	רכב פלאג-אין עד ציון 100
35%	20%	10%	10%	10%	רכב חשמלי

מקור: רשומות, קובץ התקנות: שיעורי מס, מס קנייה ותשלומי חובה, מס' 1893

9. בניתוח קצב במעבר לרכב חשמלי יש משקל משמעותי גם להחלטות הכלכליות שיתקבלו על יתר חברות ותאגידים. זאת לאור האחוז הגבוה של עובדים המקבלים רכב מהעבודה בעשירונים הגבוהים (תרשים 5).

**תרשים 5 – שיעור עובדים עם רכב צמוד  
(נתוני רשות המיסים)**

שיעור העובדים שמקבלים רכב צמוד מהמעביד, לפי מגדר ועשירוני הכנסה חודשית

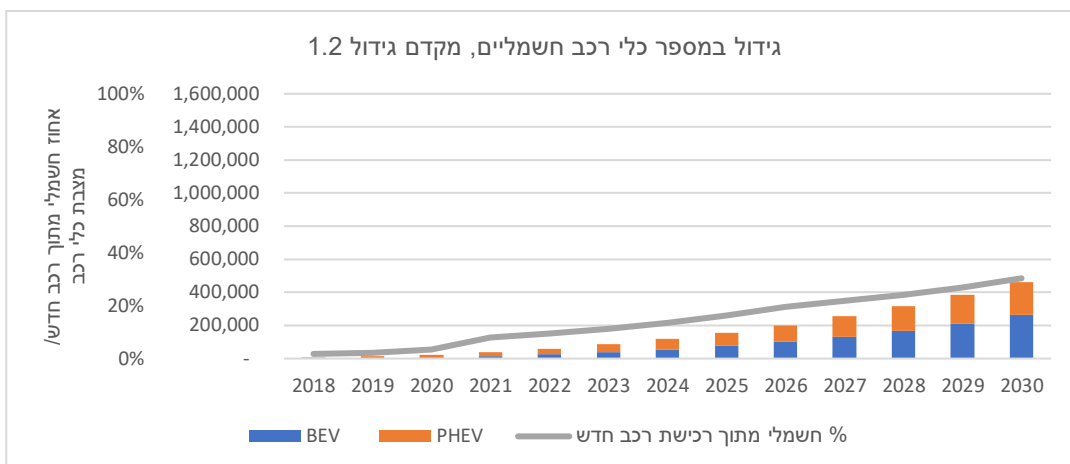


מקור: דיווחי המעסיקים, עיבודי החטיבה לתכנון וכלכלה ברשות המסים

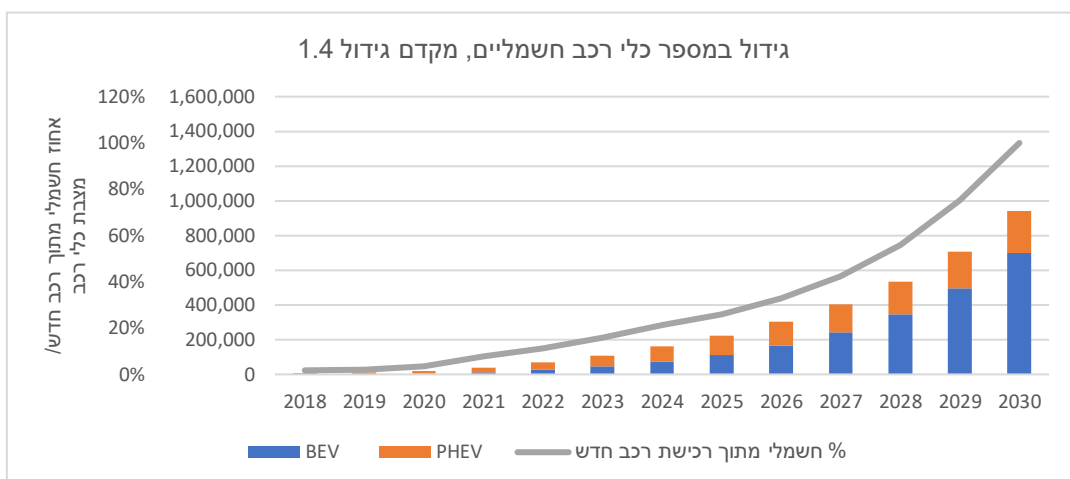
10. לאור שיקולים אלו, הערכנו את קצב הגידול האפשרי של מצבת הרכב החשמלי בישראל באופן הבא:

- א. ניתחנו את כמות כלי הרכב הנמכרת מדי שנה בישראל.
- ב. הנחנו כי אחוז כלי הרכב החשמליים ואחוז כלי הרכב ההיברידיים יוכפל מדי שנה ביחס לשיעור של כל סוג רכב בשנה הקודמת, לפי מקדם גידול ( $\alpha$ ). בדקנו טווחים אפשריים של מקדם הגידול, מ- $\alpha=1.2$  ועד  $\alpha=1.7$ .
- ג. הנחנו שבסוף תקופת המעבר לרכב חשמלי, חלקו של הרכב הנטען יגיע עד ל-90%, כך שחלקו של הרכב ההיברידי לא יעלה על 10%. בתרחישים בהם, קצב הגידול איטי, יתר כלי הרכב שיירכשו יהיו רכבים רגילים בעלי מנוע בנזין. בתרחישים בהם קצב הגידול מהיר, לקראת סוף העשור 90% מכלי הרכב החדשים יהיו חשמליים ו-10% הנוותרים יהיו היברידיים.
11. קצב הגידול בפועל תלוי במשתנים רבים בכלל זה, הטבות מס לרכישת רכב החשמלי, הטלת מס פחמן על דלקים מזהמים, זמינות עמדות הטעינה הציבוריות המהירות, זמינות עמדות הטעינה בשכונות המגורים, אופן יישום החלטת הממשלה על הגבלת רכישת רכב מזהם בשנים הבאות, מדיניות ציי הרכב של מקומות העבודה וחברות הליסינג ועוד.
12. תרשימים 6-8 מציג את כמות כלי הרכב החשמליים עבור ערכים שונים של קצב הגידול. מהתרשים ניתן לראות כי מספר כלי הרכב החשמליים בישראל עשוי להגיע בסוף העשור לכ-500,000 בתרחיש המקל ביותר ועד ל-1.5 מיליון כלי רכב בתרחיש המחמיר. זאת ועוד, בתרחיש המחמיר כל כלי הרכב שיירכשו החל משנת 2027 יהיו חשמליים. חלקו היחסי של הרכב החשמלי ההיברידי קטן יותר, ככל שמקדם הגידול במספר כלי הרכב גדל.

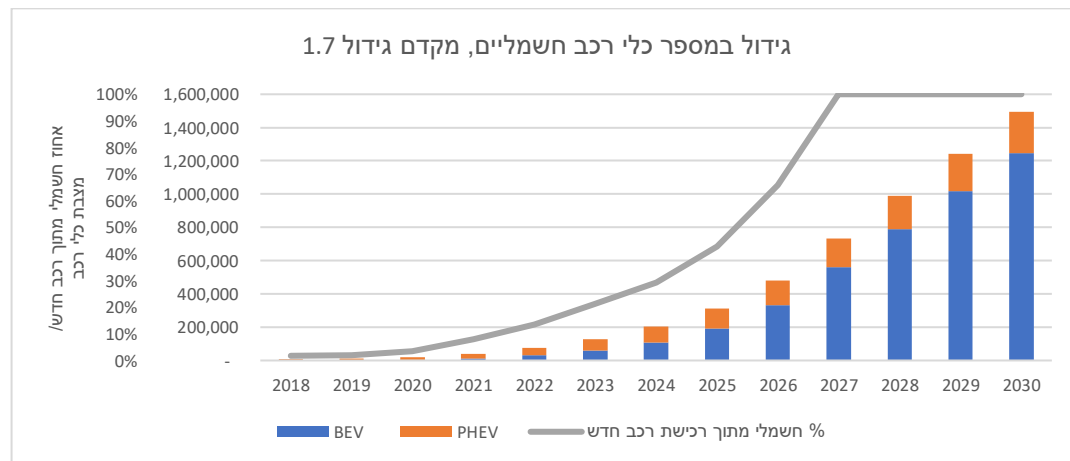
### תרשים 6 – גידול במצבת כלי רכב חשמליים לפי מקדם גידול 1.2



### תרשים 7 – גידול במצבת כלי רכב חשמליים לפי מקדם גידול 1.4



### תרשים 8 – גידול במצבת כלי רכב חשמליים לפי מקדם גידול 1.7



## נסועה

13. לפי נתוני הלמ"ס, הנסועה השנתית של רכב פרטי בישראל היא 16,200 ק"מ. הנחנו כי 90 אחוז מהנסועה השנתית של כלי הרכב תתרחש בימי חול. כך, הנסועה הממוצעת של רכב פרטי בימי חול תעמוד על 57 ק"מ.

14. בנוגע להתפלגות טווח הנסיעה של כלי רכב פרטיים, הנחנו את הנחות העבודה המפורטות להלן:

א. הנחנו כי טווח הנסיעה של כלי רכב פרטיים חשמליים יתפלג לפי המפורט בטבלה 3, כך שהממוצע יעמוד על 57 ק"מ ליום חול.

ב. הנחנו כי 20% מכלי הרכב ההיברידיים ייסעו בימי חול לטווח של 34 ק"מ, והיתר ייסעו לטווח ממוצע של 57 ק"מ. בנסיעות ארוכות יותר הרכב ההיברידי יעשה שימוש במנוע הבנזין ולכן נסיעות אלו לא נכללו במודל.

## טבלה 3 – התפלגות טווח הנסיעה של רכבים חשמליים (BEV)

הערות	טווח נסיעה (ק"מ/יום)	אחוז מכלי הרכב
ערך זה מייצג נסועה יומית ממוצעת של נסיעות לטווח קצר, כך שחלק מהמכוניות ייסעו מרחקים קצרים מ 34 ק"מ ואחרים ייסעו מרחקים ארוכים יותר	34	13%
	57	82%
ערך זה מייצג נסועה יומית ממוצעת של נסיעות לטווח ארוך, כך שחלק מהמכוניות ייסעו מרחקים ארוכים מ 120 ק"מ ואחרים ייסעו מרחקים קצרים יותר.	120	5%
	57	ממוצע משוקלל

## מאפייני הסוללות

15. טבלה 4 מסכמת את המאפיינים של הסוללות בכלי הרכב החשמליים ובכלי הרכב ההיברידיים.

16. מהטבלה ניתן לראות כי צריכת החשמל של הרכב ההיברידי גבוהה בכ-10% בהשוואה לכלי הרכב החשמלי, משום שמשקלו של הרכב ההיברידי גבוה יותר.

17. הספק הטעינה שהנחנו נמוך משמעותית מהספק הטעינה האפשרי, משום שהנחנו כי בעתיד כלי הרכב יעדיפו להקטין את הספק הטעינה על מנת לשמור על חיי הסוללה. ריבוי כלי הרכב אשר יבקשו לטעון את הרכב בבניין משותף צפוי גם הוא להביא להקטנת הספק הטעינה. מובן כי הספק הטעינה בעמדות ציבוריות (DC) צפוי להיות גבוה משמעותית.

## טבלה 4 – מאפיינים ממוצעים של כלי רכב חשמליים וכלי רכב משולבי מנוע בנזין

מאפיין	רכב חשמלי (BEV)	רכב משולב מנוע בנזין (PHEV)	הערות
קיבולת סוללה [קוט"ש]	75 - 50	15	הקיבולת האופיינית היום לרכב חשמלי היא כ-50 קוט"ש, אולם היא צפויה לגדול ככל שמחירי הסוללות ירדו
נצילות [%]	0.9	0.9	
הספק טעינה [קילוואט]	2	2	הספק הטעינה הפוטנציאלי גבוה יותר, אולם הנחנו הספק נמוך לצורך שמירה על חיי הסוללה
צריכת חשמל [קוט"ש ל 100 ק"מ]	18	20	צריכת האנרגיה של רכב מסוג PHEV היא גבוהה יותר משום שמשקל הרכב גבוה יותר

## מאפייני הטעינה

18. דפוסי ההתנהגות של ציבור הנהגים בעלי הרכב החשמליים הפרטים ביחס לטעינה, אינם ידועים עדיין וקיימת קשת של הערכות ביחס לחלוקת הטעינה בין הבית לבין עמדות טעינה ציבורית וכן ביחס להתפלגות שעות תחילת הטעינה בבתיים.

19. האופן שבו ציבור הנהגים יבחר לטעון את הרכב תלוי בין השאר בגורמים הבאים:

- א. זמינות עמדות הטעינה במקומות החניה הציבוריים (מקומות עבודה, חניונים, אזורי מסחר, תחנות תדלוק)
- ב. עלות הטעינה בעמדות הציבוריות,
- ג. זמינות והספק עמדות הטעינה בשכונות המגורים,
- ד. האילוצים של שעת תחילת הטעינה בבתיים לאור גודש אפשרי ברשת בשכונות המגורים
- ה. תמריצים כלכליים שיקבעו בעתיד ביחס לשעת הטעינה, כפי שכבר נעשה בחלק מהמדינות.

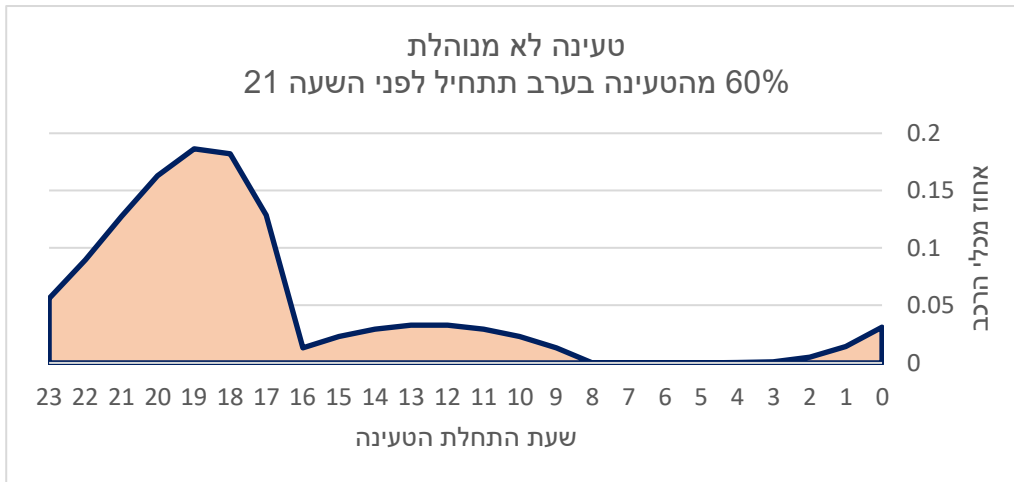
20. זאת ועוד, התמריצים הכלכליים עשויים להיקבע בהתאם למאפייני הטעינה שיצטברו בעתיד. כלומר, ככל שיתברר בעתיד כי מקדם ההתלכדות של שעת תחילת הטעינה הוא גבוה יחסית (כלומר – הטעינה מתרכזת בטווח מצומם של שעות), עשויים להיקבע תמריצים אשר יביאו להסטת הטעינה על פני שעות היום.

21. לאור אי וודאות מובנית זאת, בחנו טווח אפשרי של ערכים אשר ישפיעו על פריסת שעות הטעינה:

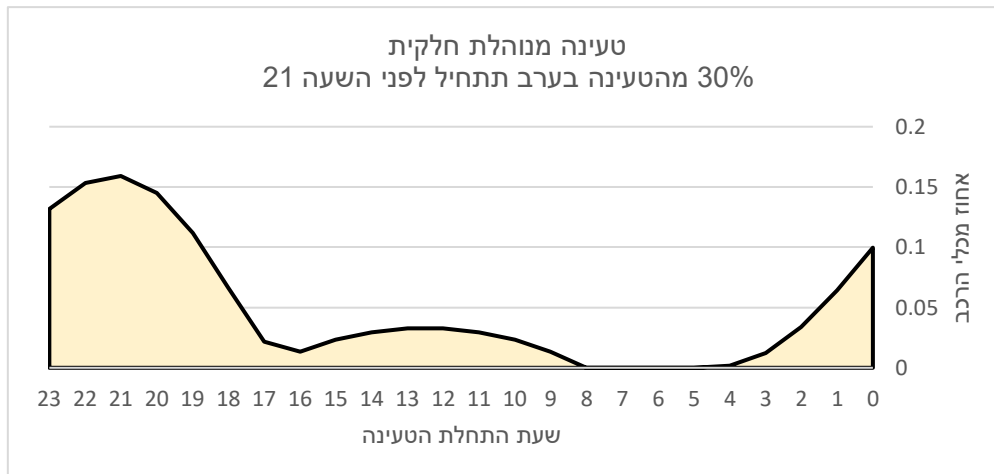
- א. הנחנו כי 10%-30% מהאנרגיה תיטען בשעות היום בעמדות ציבוריות, ובחנו את ההשפעה של הנחה זו על התוצאות.
- ב. הנחנו כי תחילת שעת הטעינה בערב תתפלג לפי התפלגות בטא ובחנו פרמטרים אפשריים להתפלגות זו. התרחישים השונים שבחנו נבדלים באחוז כלי הרכב אשר הטעינה שלהם תתחיל לפני השעה 21 בערב. כך שבתרחיש הלא מנוהל 60% מכלי הרכב יתחילו את הטעינה לפני שעה זו, בתרחיש הביניים - בו חלק מהטעינה תהיה מנוהלת - 30% מכלי הרכב יתחילו את הטעינה לפני שעה זו; ואילו בתרחיש המקל - בו מרבית הטעינה תהיה מנוהלת - רק 10% מכלי הרכב יחלו את הטעינה לפני השעה 21 בערב.
- ג. תרשימים 9-11 מציגים את התפלגות שעת תחילת הטעינה בהתאם להנחות אלו.



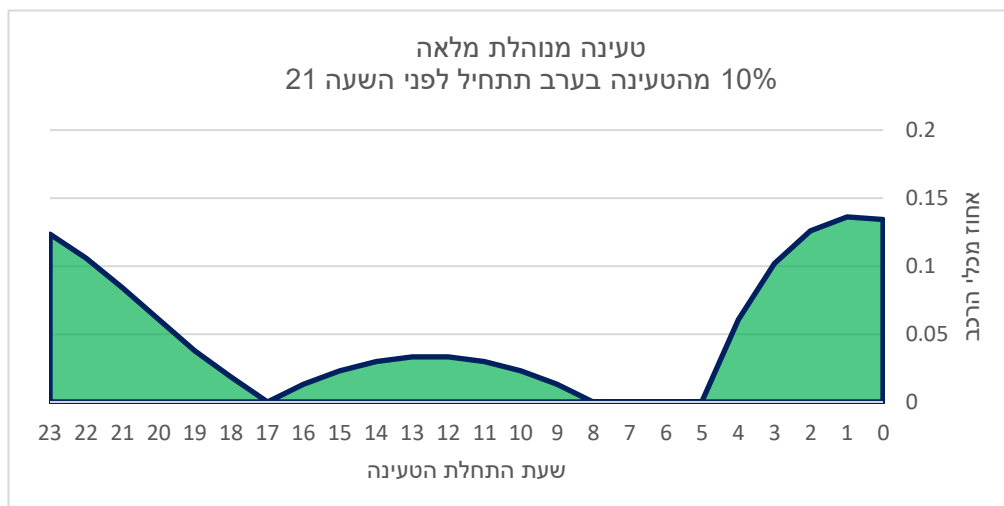
**תרשים 9 – התפלגות שעת תחילת הטעינה – טעינה לא מנוהלת**



**תרשים 10 – התפלגות שעת תחילת הטעינה – טעינה מנוהלת חלקית**



**תרשים 11 – התפלגות שעת תחילת הטעינה – טעינה מנוהלת מלאה**

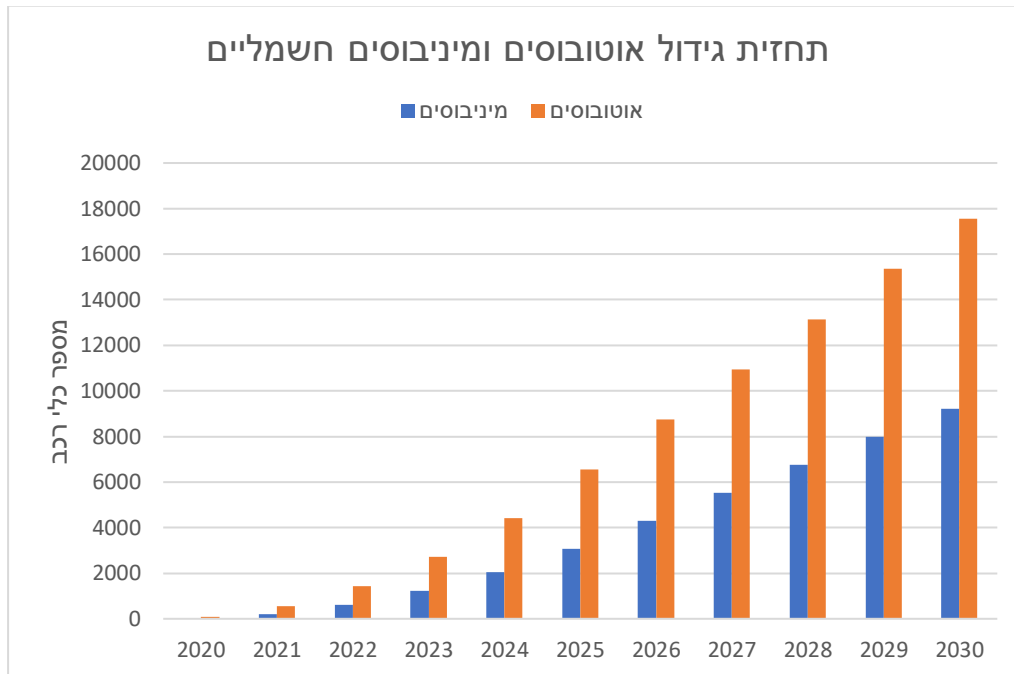


## הנחות העבודה ביחס לאוטובוסים ולמיניבוסים

הגידול במספר האוטובוסים והמיניבוסים החשמליים

1. כיום יש בישראל כ 22,000 אוטובוסים וכ-15,000 מיניבוסים. במבט קדימה, מספר האוטובוסים צפוי לגדול לאור החלטת הממשלה על חיזוק התחבורה הציבורית.
2. לפי התוכנית הממשלתית לעתיד דל פחמן, החל משנת 2026 כל האוטובוסים החדשים שירכשו יהיו חשמליים. לאחרונה תוקן חוק אוויר נקי והחובה לרכישת אוטובוסים חשמליים נקבעה בהדרגה בין השנים 2023 ל 2025.
3. לפי נתוני הלמ"ס מדי שנה נרכשים כ- 2200 אוטובוסים (10% מהמצבה) וכ-1200 מיניבוסים (8% מהמצבה). חישבנו את הגידול הצפוי במספר האוטובוסים החשמליים, בהנחה שאחוז הרכב החשמלי מתוך האוטובוסים שירכשו בכל שנה יהיה שווה לאחוז הנדרש לפי התיקון לחוק אוויר נקי. הגידול הצפוי במספר האוטובוסים והמיניבוסים החשמליים לפי הנחות אלו מוצג בתרשים 12.

תרשים 12 – מספר אוטובוסים ומיניבוסים חשמליים, לפי שנה



4. טבלה 5 מסכמת את המאפיינים הטכניים של הסוללות בתחבורה הציבורית.

טבלה 5 – מאפיינים טכניים של אוטובוסים ומיניבוסים חשמליים

מאפיין	אוטובוס חשמלי	מיניבוס חשמלי	הערות
קיבולת סוללה [קוט"ש]	350	77	
נצילות [%]	0.9	0.9	
הספק טעינה [קילוואט]	80	40	
צריכת חשמל [קוט"ש ל 100 ק"מ]	120	35	צריכת החשמל של מיניבוס נמוכה משמעותית משום שמשקל המיניבוס נמוך משמעותית

5. לפי נתוני הלמ"ס טווח הנסיעה הממוצע עומד על 250 ק"מ ליום לאוטובוס ו- 220 ק"מ למיניבוס. הנחנו כי הנסועה של אוטובוסים ומיניבוסים תישאר דומה גם בעתיד.

6. לבסוף, הנחנו כי אוטובוסים ומיניבוסים יטענו באופן מנוהל, לאחר השעה 21 בערב. הסיבות לכך:

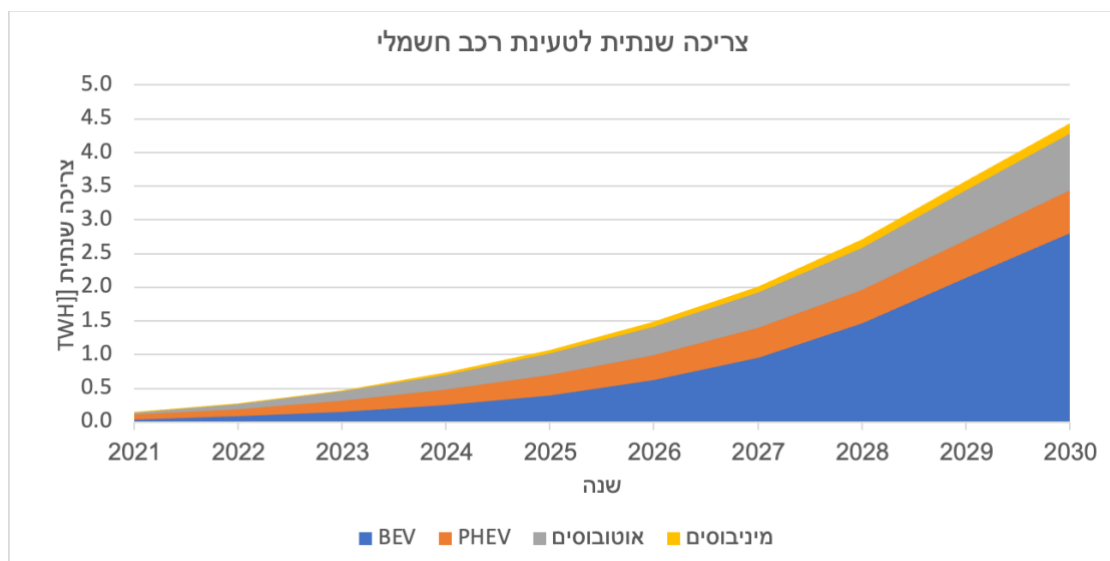
- א. הספק הטעינה של חניון אוטובוסים צפוי לחייב חיבור למתח גבוה ובחניונים גדולים אף חיבור למתח עליון. שימוע שפרסמה לאחרונה רשות החשמל מאפשר לקבל אישור לחיבור בכפוף לתחילת הטעינה לאחר שעות העומס.
- ב. הניהול המרכזי של צי האוטובוסים והעלות המשמעותית של הטעינה בשעות הפסגה עשויים להביא בסבירות גבוהה לניהול טעינה בהתאם לתמריצים כלכליים.
- ג. בשעות הערב חלק משמעותי מהאוטובוסים עשויים עדיין להימצא בדרכים ולכן ממילא שעת הטעינה תידחה.

## משמעות למשק החשמל ברמה הארצית

### צריכת החשמל במשק

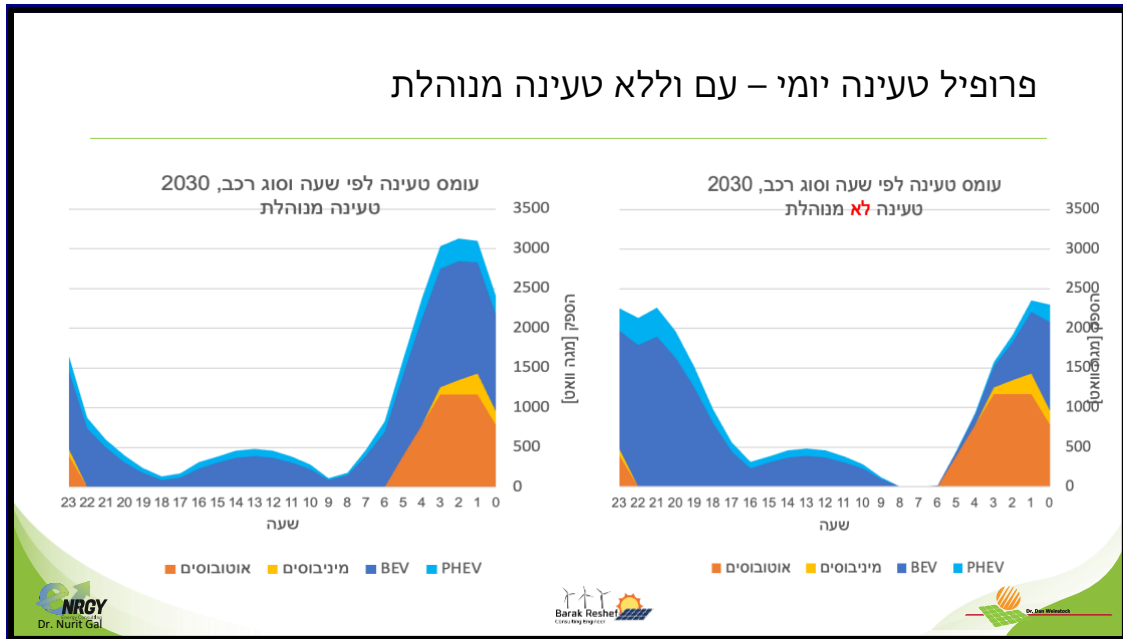
1. בחנו את הגידול השנתי בצריכת החשמל בעקבות המעבר לרכב חשמלי (תרשים 13). צריכת החשמל השנתית חושבה בכל שנה לפי מצבת כלי הרכב החשמליים באותה שנה, התפלגות הנסועה לפי סוג רכב וצריכת החשמל של כל סוג רכב. מהתרשים ניתן לראות כי בתרחיש של מיליון כלי רכב בשנת 2030, צריכת החשמל של כלי הרכב החשמליים צפויה להגיע לכ- 4.5 (TWh). זאת לעומת צריכה בסיסית שנתי של כ- 97 (TWh) אשר צפויה בשנה זו. התוספת לקצב גידול הביקוש השנתי היא כ- 0.5%.
3. מהתרשים ניתן לראות כי צריכת האוטובוסים צפויה להגיע בשנת 2030 לכ- 1 (TWh), אף שמספר האוטובוסים והמיניבוסים החשמליים (כ- 26,000 במצטבר) נמוך משמעותית בהשוואה לכלי הרכב הפרטיים (כמיליון). תוצאה זו נובעת מהנסועה הגבוהה וצריכת החשמל הגבוהה של האוטובוסים.
4. לשם השוואה, גידול במצבת הרכב החשמלי ל 1.5 מיליון כלי רכב בשנת 2030 יביא לתוספת צריכה של 5.7 (TWh) בשנה זו, ואילו מצבת כלי רכב של 0.5 מיליון כלי רכב בשנת 2030 תביא לתוספת צריכה של 2.7 (TWh). צריכת האנרגיה איננה גדלה באופן ליניארי עם מספר כלי הרכב, משום שבכל התרחישים הנחנו גידול זהה במצבת האוטובוסים והמיניבוסים החשמליים.

### תרשים 13 – צריכת חשמל לרכבים חשמליים לפי סוג ושנה



5. תרשים 14 מציג את פרופיל הטעינה היומי של כלל כלי הרכב החשמליים הצפוי עם וללא טעינה מנוהלת, בתרחיש של מיליון כלי רכב חשמליים ב 2030.

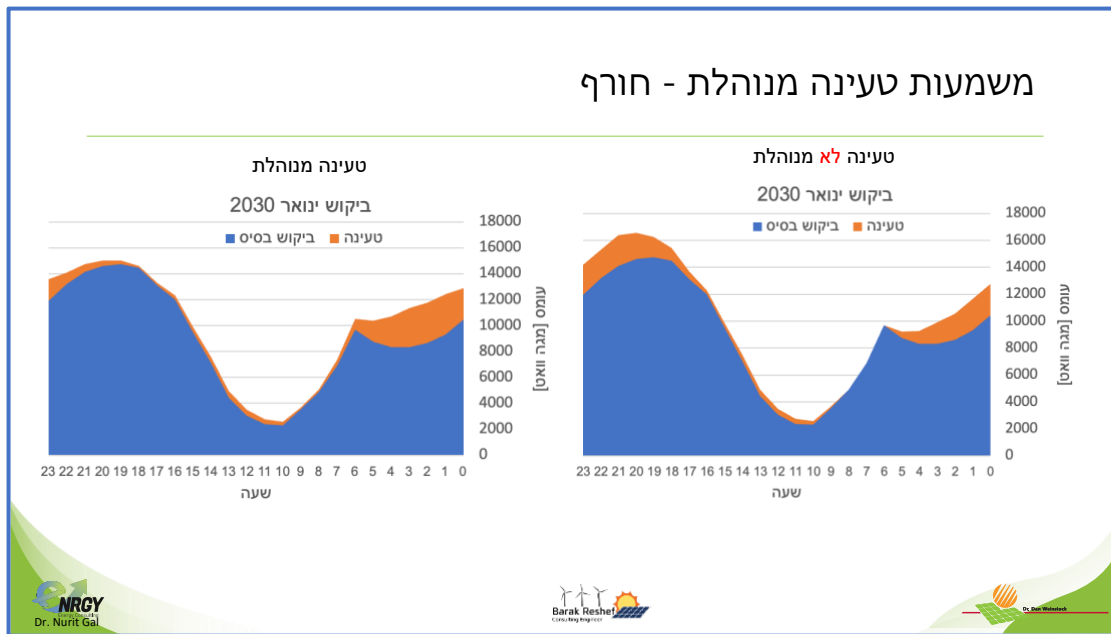
תרשים 14 – פרופיל טעינה יומי



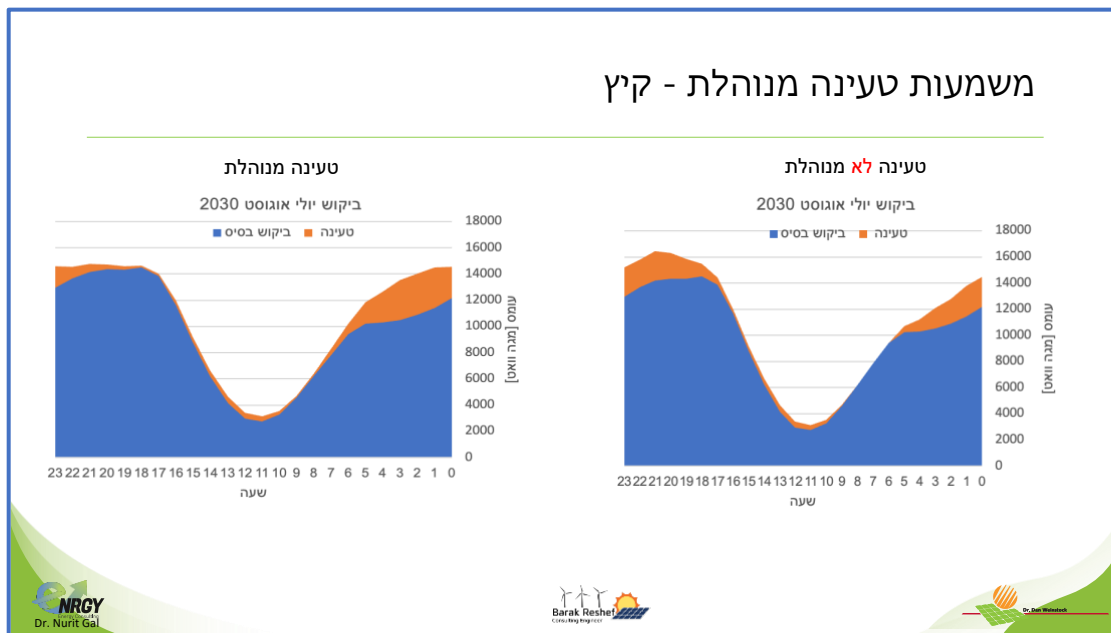
6. מהתרשים ניתן לראות כי בתרחיש ללא טעינה מנוהלת, טעינת האוטובוסים תתרחש בעיקר לפנות בוקר ואילו טעינת הרכבים הפרטיים תתרחש בשעות שיא הביקוש בערב. בטעינה מנוהלת, כלל הטעינה תידחה לשעות הלילה, ולכן שיא הביקוש לטעינה גבוה יותר בתרחיש בו הטעינה מנוהלת (3500 מגה וואט ב 2030, לעומת 2500 מגה וואט בטעינה לא מנוהלת) אולם שיא זה מתרחש בשעות שבהן הרשת אינה עמוסה.

7. תרשימים 15 ו-16 מציגים את פרופיל הטעינה עם וללא ניהול על גבי פרופיל הביקוש ביום אופייני בחורף (ינואר) ובקיץ (יולי/אוגוסט). מהגרפים ניתן לראות כי הטעינה הלא מנוהלת עשויה להגדיל את שיא הביקוש בקיץ ובחורף במעל 1000 מגה וואט בתרחיש של מיליון כלי רכב ב 2030. טעינה מנוהלת אמנם מתאפיינת בהספק טעינה גבוה יותר, אולם תרומתה לשיא הביקוש זניחה, משום שהיא מתרחשת כאמור לעיל, בשעות בהן הביקוש נמוך.

תרשים 15 – משמעות הטעינה המנוהלת – יום חורף



תרשים 16 – משמעות הטעינה המנוהלת – יום קיץ



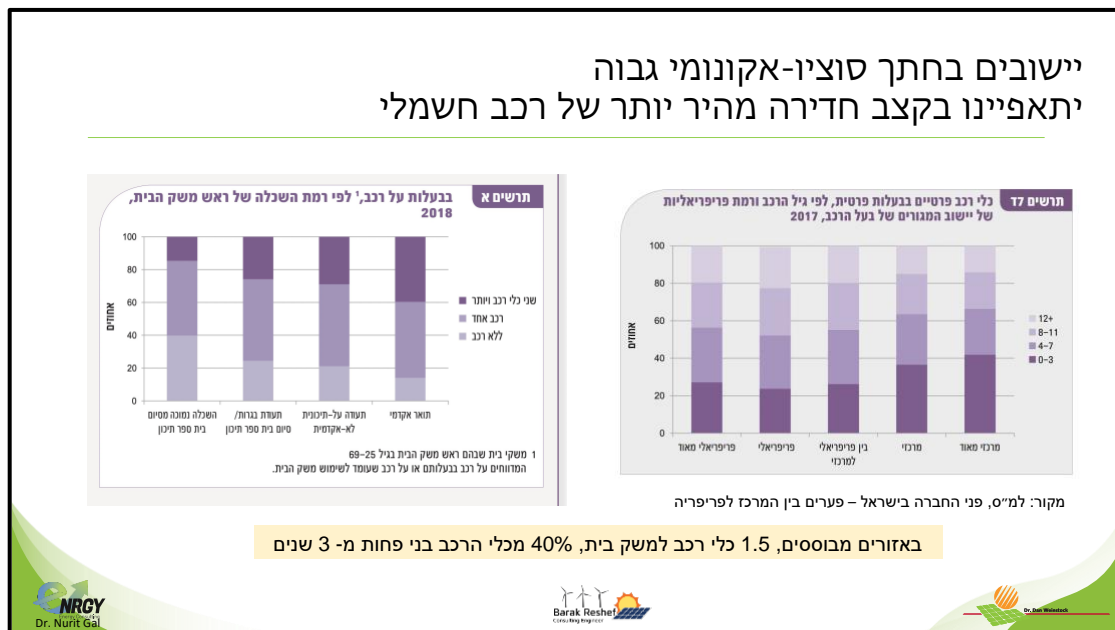
## תוספת ההספק הנדרש במשק החשמל

8. תרשים 1 (בפרק המבוא) מסכם את ההספק הנוסף שיידרש במשק החשמל בשלושה תרחישים של גידול במצבת הרכב החשמלי (בכל התרחישים, הנחנו גידול זהה במצבת האוטובוסים החשמליים). התוצאה בתרשים מוצגת עבור 3 רמות של ניהול הטעינה.
9. מהתרשים עולה, כי ללא ניהול הטעינה, תוספת ההספק הנדרש למשק עשויה להגיע לכ- 2000 מגה וואט בתרחיש של מיליון וחצי כלי רכב חשמליים ב 2030. ניהול חלקי של הטעינה יפחית את תוספת ההספק הנדרש לכ- 1000 מגה וואט, ואילו ניהול מלא של הטעינה יפחית את תוספת ההספק לכ- 200 מגה וואט בלבד.
10. תוצאה זו ממחישה את החשיבות הרבה של ניהול הטעינה.

## משמעות לשנאי החלוקה

1. כאמור, אחת ממטרות העבודה היא לבחון את המשמעות של טעינת רכב חשמלי ברשת החלוקה. לשם כך התאמנו את המודל גם לרמת השכונה.
2. רשת החלוקה באזורי מגורים מתוכננת כך ששנאי של 630 KVA מזין כ- 84 משפחות. משפחות אלו עשויות לגור בבניין מגורים משותף אחד או יותר או בבתים פרטיים. לאור זאת, מיקדנו את הניתוח ברמת שנאי החלוקה ובחנו את המאפיינים הצפויים של כלי הרכב הניזונים מהשנאי.
3. תרשים 17 מציג מאפיינים של כלי הרכב לפי אזורים בארץ ולפי השכלה (מקור: למ"ס). מהתרשים ניתן לראות כי במרכז הארץ 40% מכלי הרכב הם בני פחות מ 3 שנים ו- 70 אחוז מכלי הרכב בני פחות מ 7 שנים. עוד ניתן לראות, כי במשפחות בהן רמת ההשכלה גבוהה, אחוז משמעותי מהמשפחות מחזיקות בשני כלי רכב, וממוצע מספר כלי הרכב. מכאן שבאזורים המתאפיינים בחתך סוציו אקונומי גבוה, מספר כלי הרכב הניזונים מהשנאי גבוה יותר והתחלופה המהירה של כלי הרכב תביא לחדירה גבוהה יותר של כלי רכב חשמליים.

### תרשים 17 – מאפייני בעלות על רכב (למ"ס)





4. לאור זאת, מיקדנו את הניתוח באזור אופייני לחתך סוציו-אקונומי גבוה והנחנו את ההנחות הבאות:

- א. השנאי מזין 84 משפחות
  - ב. למשפחות באזור השנאי 126 כלי רכב (1.5 מכונית למשפחה בממוצע)
  - ג. בחנו תרחיש של 10% ו-30% כלי רכב חשמליים הניזונים מהשנאי (13, 38 ו 63 כלי רכב חשמליים בהתאמה)
5. תרשים 18 מציג את פרופיל הטעינה על השנאי בתרחיש שבו 30% מכלי הרכב של המשפחות הניזונות מהשנאי הם חשמליים. מהתרשים ניתן לראות כי העומס על השנאי עשוי להגיע לתוספת של 60 קילו וואט בשעות שיא הביקוש טעינה לא מנוהלת ולתוספת של 45 קילו וואט בשעות הלילה בטעינה מנוהלת.
6. בתרחיש של 10% חדירת רכב חשמלי, טעינה לא מנוהלת תביא לביקוש נוסף של 20 קילו וואט בשעות הערב, ואילו בתרחיש של 50% חדירת רכב חשמלי, טעינה לא מנוהלת תביא לביקוש נוסף של 95 קילו וואט על השנאי, קרי – כ 15% מהספק השנאי.

#### תרשים 18 - עומס טעינה על שנאי חלוקה

